

論文の内容の要旨

論文題目： 呼吸空気質・温熱快適性に対する人体起源の室内流れの影響
と適応調節に関する研究

氏 名 朱 晟偉

本論文は、室内温熱空気環境の健康・快適・省エネルギー性を検討するため、人間の生理・心理と周辺の微細な温熱空気環境との関係を明らかにし、人体の吸気勢力範囲、部位別温熱性状と温熱適応能力それぞれの解析手法を提案するものである。

「気候変動枠組条約」の第3回締結国会議 COP3 で日本政府は住宅・建築物分野における省エネルギー対策として、夏季の冷房温度を現在の26 から28 への引き上げを掲げている。しかし、現状の空調システムで、空調設定温度を単に上げることは、執務者に大きな温冷感ストレスを与え、知的労働生産性を低下させる恐れがある。これに対応して、温熱環境性状の不均一性の活用により、快適性や省エネルギー性の高い空調システムの開発が多くなされてきた一方、人間の温熱適応性を最大限に利用するアダプティブ空調制御方式が注目されている。この人間の温熱適応性と、不均一性と非定常性を特徴とする温熱環境に適用可能な熱快適指標を作成するには、人体部位別の微細な温熱空気環境性状と温熱適応性の評価手法が必要となる。また、不均一な空気環境において、人体がどのような空気環境に曝されているかを評価するためには、その場所に実際に存在する人体を対象にした解析が必要とされる。このような状況に対し、本研究は人体の吸気勢力範囲、部位別温熱性状、及び温熱適応能力をそれぞれ解析する手法を提案している。これらの解析手法を用いて、人体の呼吸空気質や部位別温熱性状の詳細な解析及び温熱適応性の活用により、健康、快適且つ省エネルギー的な空調システムやその制御手法の開発が可能となる。本研究では、その具体的な例として、スポット型パソナル空調のアダプティブ制御方式を提案している。また、人体呼吸現象の実験検討手法とCFD解析手法を用いて、呼吸器感染病患者の咳の室内空気質への関与や他の在室者への影響を検討している。

本研究により、以下の5つの成果を得ている。

(1) 人体吸気勢力範囲の解析手法の提案

定常吸気の仮定で、SVE5 (Scale for Ventilation Efficiency 5: 吸入口の環境形成寄与率指標) を活用して、人体の吸気勢力範囲を簡易に解明する解析手法を提案して、静穏環境における安静状態の立位人体の吸気勢力範囲を検討した。また、この解析手法の有効性を、トレサガス実験と呼吸

域の非定常解析により検証した。

(2) 咳による物質伝搬特性の解明

咳による物質伝搬特性を、被験者実験と数値解析により解明した上で、咳によるウィルスの室内汚染、及び他の在室者への影響を考察した。ここで、静穏環境においても他者の咳によるウィルスの空気感染や飛沫感染及びその予防対策を検討した。

(3) 対流・放射・SMITH モデルの連成解析手法の提案

SMITH モデルは 3 次元の熱収支や温度分布を考慮したもので、15 個の円柱部位で近似した人体組織系と、体内の温熱生理をモデル化した体温調節系からなるモデルである。本研究では、不均一環境における人体の部位別温熱性状を予測するため、SMITH モデルを組み込んだ対流・放射・SMITH モデルの連成解析手法を提案して、前/後放射パネルやスポット型パ - ソナル空調による不均一環境における人体の部位別温熱性状を解明した。また、同様な条件での被験者実験と数値解析による皮膚温分布の比較によりこの連成解析手法の予測精度を検討した。

(4) 人体温熱適応行動の総合効果の定量評価指標の提案

人間が代謝量変化や熱環境の異なる空間を移動する際に、空調された環境で温冷感が中立状態になるまでの時間を緩和時間と定義する。この緩和時間の長さにより、代謝量や温熱環境などの変化に伴う温熱緩和段階における人間の熱適応行動を定量的に評価することが可能となる。本研究では被験者実験により、各種のスポット型パ - ソナル空調条件下での緩和時間を測定し、人間の温熱適応能力の特徴を考察した。

(5) スポット型パ - ソナル空調のアダプティブ制御手法の提案

緩和時間の概念を生かしてスポット型パ - ソナル空調の 2 段階制御方式を提案した。第 1 段階は温熱緩和段階であり、人間の温熱負荷を迅速に緩和するため空調制御量を大きくする。この段階の制御時間が緩和時間に相当する。直後の第 2 段階は快適制御段階であり、人間の暑さへの適応行動を維持させつつ快適とするため、空調制御量を小さくし、熱快適状態に保つようにする。この 2 段階制御方式の下で人体の温熱快適性と呼吸空気質を被験者実験と数値解析により確認して、その有効性を検証した。

本論文は以下に示す 11 章により構成されている。

序章では、本研究の背景、目的および研究内容の概要を述べ、本論文の構成を示している。

第 1 章から第 3 章までは本研究に関わる基礎理論と既往の研究に関して解説している。第 1 章では、本研究で用いられた流体解析手法、放射熱伝達解析手法、及び対流・放射・熱伝導の連成解析手法を説明している。第 2 章では、換気効率指標及び人体呼吸空気質評価指標を解説している。第 3 章では、既往の人体の温熱快適性に関する研究を紹介している。まずは体温調節モデルを紹介し、特に本研究で用いられた SMITH モデルを詳細に解説している。次いで熱快適指標 PMV や SET*を紹介している。最後にはアダプティブモデルとアダプティブ空調システム の概念を示している。

第 4 章と第 5 章は、静穏環境における人体の呼吸空気質を検討している。第 4 章では、定常吸気の仮定に基づく吸気勢力範囲の解析手法を提案している。また、実験と数値解析により安

静状態の立位人体の呼吸現象を解明した上で、この吸気勢力範囲を検討している。第5章では、被験者実験と数値解析により、咳による物質伝搬特性を解明している。この上で、咳が室内空気質汚染への関与及び他の在室者への影響を考察し、咳によるウィルスの空気感染や飛沫感染及びその予防対策を検討している。

第6章と第7章は、前後不均一放射環境における人体の温熱快適性を検討している。第6章では、被験者実験により、気温が28℃の均一環境・各前後不均一放射環境における人体の生理・心理応答を観測した結果を示している。第7章では、対流・放射・SMITHモデルの連成解析手法を提案している。また、この連成解析手法を用いて第6章での各実験条件における人体の部位別温熱性状を解明する。また、数値解析と被験者実験による皮膚温分布の比較によりその予測精度を検証している。最後に、現状の連成解析手法の問題点を考察し、今後の改善方法を検討している。

第8章は、スポット型パ・ソナル空調を用いた場合の人体の温熱適応性を検討している。被験者実験により、各パ・ソナル空調条件下で緩和時間を測定し、スポット型パ・ソナル空調の温熱緩和効果や人体の温熱適応能力の特徴を考察している。

第9章は、緩和時間に基づく2段階制御方式をスポット型パ・ソナル空調のアダプティブ制御方式として提案している。

第10章は、本論文のまとめ、並びに今後の課題を示している。